

Modeling of the road network of the city of Guimarães. A case study associated with the impact of a new road.

Modelação da rede viária da cidade de Guimarães. Um estudo de caso associado ao impacto da construção de uma nova via.

Paulo Ribeiro; pauloribeiro@civil.uminho.pt

Universidade do Minho/ CTAC

Luís Gonçalves - a65183@alunos.uminho.pt

PhD student: Universidade do Minho/ CTAC

Abstract

One of the main problems of urban road networks is the imbalance between supply and demand associated with the massive use of motorized transport, which leads to frequent traffic congestion in sensitive areas and structuring road axes of these territories. This phenomenon is one of the causes of increased levels of noise and pollution and lack of road safety in urban centers that directly affect the quality of life of populations. In order to study the impact of several changes in the road network and transportation system of the city of Guimarães, this article presents the procedure for modeling and allocating traffic to the city's road network through the use of PTV Visum software. In this context a possible conclusion of the ring road - main arterial route of the city, by the slope of Monte da Penha, was studied for the morning and afternoon peak hours. In order to carry out this study, the Origin-Destination matrix was estimated for those two periods, which allowed to conclude that the traffic volume in the area of the ring road already constructed will suffer a reduction, while in the city center roads the changes in traffic flows will be insignificant.

Resumo

Um dos principais problemas das redes viárias das cidades é o desequilíbrio existente entre a oferta e procura associado ao uso massivo do transporte motorizado que conduz a frequentes congestionamentos de tráfego em zonas sensíveis e eixos estruturantes destes territórios. Este fenómeno é uma das causas do aumento do nível de ruído e poluição e redução da segurança nos centros urbanos que afeta diretamente a qualidade de vida das populações. De forma a estudar o impacto de várias alterações na cidade de Guimarães é apresentado neste artigo o procedimento de modelação e afetação do tráfego à rede viária da cidade através da utilização do software PTV Visum. Neste âmbito estudou-se uma possível conclusão da Variante - principal via arterial da cidade, pela encosta do Monte da Penha, para a hora de ponto da manhã e da tarde. Para efetuar o seu estudo foi estimada a matriz Origem - Destino para as duas horas de ponta a partir de dados de contagem de tráfego, tendo-se concluído que o volume tráfego no troço da circular já construída sofreu uma redução do tráfego, mas sem que se verificassem grandes alterações nos fluxos das vias do centro da cidade.

Keywords

Transport Planning; Transport modelling; Ringroads; Visum



Modelação de Transportes. Análise do impacto no tráfego da criação de uma circular completa à cidade de Guimarães

1. Introdução

O aumento do volume de tráfego rodoviário associado a uma reduzida capacidade das principais estradas e vias de circulação conduz a fenómenos de congestionamento, que representam um problema cuja resolução não é imediata e apresenta graves consequências em diferentes domínios da atividade humana, que não será resolvido rapidamente [1].

Por outro lado, este o congestionamento rodoviário está diretamente relacionado com a diminuição da gravidade dos acidentes rodoviários pelo facto da velocidade média do tráfego baixar em relação ao cenário sem qualquer congestionamento, resultando em colisões menos graves [2, 3]. Porém este cenário inverte-se na proximidade das interseções, em que os conflitos entre os peões e o automóvel aumenta com o volume de tráfego [4].

Outras questões que habitualmente estão associadas aos problemas de congestionamento e afetam negativamente a saúde e a qualidade de vida das populações, são o ruído e a poluição atmosférica [5, 6]. Importa realçar que sobretudo em meios urbanos muito densos, e.g. centros urbanos, o impacto ambiental é ainda mais relevante uma vez que esses locais apresentam barreiras como edifícios de altura elevada e muito próximos, que se encontra associado a ruas estreitas, e em muitos casos a condições meteorológicas locais pouco favoráveis à dispersão dos poluentes provenientes do tráfego automóvel [7].

Para além disso, é necessário evitar fenómenos de congestionamento urbano devido existência e conflito do tráfego de atravessamento com o local [8], nomeadamente em ruas de elevada importância hierárquica quer ao nível da rede viária, quer, sobretudo, no desempenho da função associada às questões da vivência urbana, em zonas ambientais sensíveis [9]. Diminuindo assim os níveis de congestionamento e aumentando a atratividade nos subúrbios, reduzindo o número de residentes que necessitam do automóvel nos centros urbanos [10]. Uma das técnicas mais utilizadas passa pelo desvio do tráfego de atravessamento e se possível de todos os veículos pesados para novas vias de maior capacidade e velocidade de circulação, vulgarmente designadas por Circulares, podendo algumas cidades possuírem mais que um anel [11, 12].

Porém este desvio do tráfego automóvel para as circulares, aumenta os níveis de ruído na sua envolvente, devido ao aumento da velocidade praticada e aumento do volume de tráfego [12]. Mas estes níveis de ruído podem ser reduzidos de forma sustentável através da criação de um cinturão de árvores envolvendo as circulares [13, 14].

Mas no dimensionamento deste tipo de estradas deve-se ter em conta as características das infraestruturas, pois esta desempenha um papel importantíssimo na segurança rodoviárias, que está diretamente relacionada com a qualidade de proteção das redes rodoviárias em benefícios de todos os utentes das estradas [15]. Pois existe uma relação direta entre a velocidade do tráfego [16] e os pontos de acesso e as taxas de acidentes rodoviários [17].

Por conseguinte, tendo em conta os fatores enunciados, torna-se importante que as entidades que gerem a rede rodoviária procedam ao desenvolvimento de modelos de transportes e previsão de tráfego que lhes permitam analisar os fenómenos de falta de fluidez do trânsito, particularmente em zonas de grande procura das cidades, como sejam os centros urbanos, áreas históricas e outras áreas nobres dos tecidos urbanos.

Assim, Pretende-se desenvolver um procedimento de cálculo para aplicação no software PTV Visum. E a sua aplicação a um estudo de caso à cidade de Guimarães, para demonstrar a aplicabilidade deste tipo de ferramenta em planeamento urbano, com a criação da Matriz Origem - Destino a partir de dados de contagens de tráfego. E a análise da criação de uma possível conclusão da Circular à Cidade de Guimarães, para efetuar uma possível redistribuição do tráfego para reduzir volume de tráfego motorizado no centro da cidade e no troço da circular já construído. O presente artigo é composto por 5 secções. A secção 1 respeita à introdução, apresentando-se algumas noções acerca do tema em estudo. São descritos os

objetivos e a respetiva estrutura do documento. Na secção 2 é apresentado um estado da arte, apresentando-se algumas reflexões em relação às estradas de circunvalação. Na secção 3 é apresentado a metodologia utilizada. Na secção 4 é apresentado o estudo de caso e é feita uma análise de resultados. Por fim na secção 5 são descritas as principais conclusões.

2. Construção do modelo de transportes

Nesta secção será apresentada a metodologia utilizada neste estudo, desde a criação do modelo até à estimação da matriz OD, recorrendo ao software de modelação PTV Visum.

2.1. Características Físicas da Rede

Para a construção do modelo foram desenhadas e caracterizadas de acordo com as características físicas reais das vias e interseções, os seguintes elementos:

- Os Nós (*Nodes*), que representam os cruzamentos entre os movimentos definidos na rede;
- Os Arcos (*Links*), que definem as estradas, ligando os nós da rede;
- As Viragens (*Turns*), que representam os movimentos possíveis em cada nó da rede;
- As Zonas (*Zones*), que são pontos de origem e/ou destino de viagens.

A construção e desenho os elementos da rede seguiu o seguinte processo metodológico:

- Criação dos nós necessários nos pontos singulares (interseções, mudanças de características das vias, etc.);
- Construção dos arcos da rede, atribuindo-lhe o tipo e, automaticamente, as suas características;
- Construção dos conectores de ligação das zonas à rede viária, em um número não excessivo que não impeça a calibração desta;
- Eliminação das viragens não permitidas, nó a nó, para impedir movimentos que não existem.

Assim, para a modelação da rede viária foi necessário definir e caracterizar diferentes tipos de arcos como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de arcos utilizados na modelação [18]

Tipo	Descrição	Velocidade base (Km/h)	Capacidade (Veh/h/por sentido)
0	IC - duas Vias por sentido	80	3500
10	Variante - duas vias por sentido	70	3000
20	Rampa de acesso - uma via	50	900
30	Via estruturante - duas vias por sentido	50	1200
31	Via estruturante - uma via por sentido	40	600
32	Via estruturante - três vias em sentido único	50	1700
33	Via estruturante - duas vias em sentido único	40	1300
40	Outras vias urbanas - duas vias por sentido	50	1000
41	Outras vias urbanas - uma via por sentido	40	400
42	Outras vias urbanas - uma via por sentido	30	500

2.2. Afetação do modelo

Para efetuar a afetação do tráfego aos elementos da rede viária, tendo por base um modelo mesoscópico, é necessário definir a Matriz Origem - Destino (OD), uma vez que a informação contida nessa matriz define o número de utilizadores que se pretendem deslocar entre diferentes zonas da área em análise. Deste modo, torna-se necessário para o período em análise definir:

- Zonamento - definição de zonas que descrevam áreas com características e usos do solo, homogêneos e semelhantes, descrevendo, a posição dos utilizadores na rede viária, correspondendo aos pontos de Origem e Destino das viagens, cujo seu centro se denomina "centróide";
- Matriz OD inicial - no caso de não ser conhecida a matriz O-D real, torna-se necessário introduzir uma matriz inicial que permita a convergência dos métodos de construção e estimação de uma hipotética matriz tendo por base contagens de tráfego numa vasto grupo de elementos da rede viária.



Existem vários modelos para executar a afetação da Matriz OD ao modelo. Desde modelos dinâmicos a modelos estáticos. Os mais utilizados são os modelos estáticos, em concreto o modelo de equilíbrio. O modelo de equilíbrio efetua a distribuição da procura de tráfego baseando-se no primeiro princípio de John Wardrop [19], segundo o qual cada condutor escolhe o caminho de forma que a sua viagem tenha a menor duração/custo possível. Este método baseia-se, inicialmente, num modelo incremental de afetação dos dados de viagens, que leva o condutor a selecionar um de dois caminhos com a mesma impedância (duração/custo), ou seja, está-se numa situação regida por um modelo de equilíbrio quando não é possível ao condutor diminuir o seu tempo de percurso sem intervenções exteriores sobre as quais não tem poder de decisão [19]. Este modelo é principalmente utilizado em redes congestionadas, com um elevado grau de saturação pois é mais eficiente e o efeito da restrição à capacidade tende a distribuir adequadamente as viagens pelos vários percursos [18, 20], sendo este modelo mais adequado para redes pequenas com poucas alternativas.

Para que os resultados das contagens de tráfego estimadas pelos modelos de afetação se aproximem o mais possível dos valores reais das contagens. O software PTV Visum permite a utilização do Algoritmo *TFlowFuzzy* que possibilita a utilização de contagens de tráfego para corrigir e/ou estimar os fluxos da matriz OD, de modo que os resultados das afetações gerem fluxos nos arcos, ou viragens selecionadas. O *TFlowFuzzy* corrige a matriz OD inicial, comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viragens resultantes da afetação com as contagens de tráfego carregadas. Tendo como objetivo, validar essas contagens através do ajustamento da matriz OD, para aproximar o melhor possível os volumes de tráfego modelados aos volumes de tráfego reais. Para a atualização, os valores da contagem são comparados com os volumes de tráfego modelados, resultantes da afetação pré-calculada da matriz OD com valores 10. A diferença entre os valores das contagens e os valores modelados são equilibradas pelo ajuste da matriz OD. Este é um processo iterativo, pois começa com a diminuição na margem de erro. O processo termina quando não for possível minimizar mais o volume de tráfego dos arcos ou viragens. Durante a implementação do algoritmo deve-se considerar a calibração dos elementos da rede possuam fluxos e contagens de tráfego [21].

2.3. Calibração do modelo

A calibração dos modelos envolve o ajuste das matrizes OD, de forma que os valores modelados coincidam, ou se aproximem, dos valores das contagens de tráfego dentro de uma margem de erro pequena e aceitável. Esta comparação deve ser feita em diferentes elementos da rede viária (pontos de contagem). Os parâmetros correntemente utilizados para a calibração do modelo são o GEH, RMSE e o gráfico de dispersão [23]. O GEH compara dois conjuntos de volumes de tráfego (contado e modelado) inspirando-se no teste do chi-quadrado (χ^2), podendo ser calculado individualmente para cada arco ou como uma medida global para toda a rede e é dado pela equação 1 [22, 23]:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (V_m - V_0)^2}{V_m + V_0}} \quad (1)$$

- V_m - Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 - Volume de tráfego observado numa hora.

O Erro Quadrático Médio, RMSE (*Root Mean Squares Error*) e o *R-square*, R^2 são medidas estatísticas da correlação entre a totalidade dos dados de contagem definidos e a totalidade dos volumes modelados. O RMSE aplica-se a todo o conjunto de dados de comparação e é expressa como um valor único, equação 2 [22]:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (V_0 - V_m)^2}{C - 1}}}{\frac{\sum V_0}{C}} \times 100 \quad (2)$$

- V_m - Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 - Volume de tráfego observado numa hora;
- C - Número de locais de contagem.

Para uma melhor interpretação dos resultados associa-se um gráfico (Gráfico de Dispersão), onde se representa os valores das variáveis observadas e modelados. Facilitando a



realização da análise visual. A sua representação consiste na introdução de uma reta de regressão linear, com declive igual a 1. Quanto mais próximos os pontos estiverem dessa reta, ou seja, quanto maior o coeficiente de R^2 , melhor é a qualidade da simulação [24].

Para a validação dos resultados, devem ser respeitados os seguintes critérios [22]:

- 95 % dos arcos devem ter um $GEH \leq 5.0$;
- 85 % das viragens devem ter $GEH \leq 5.0$;
- Todos os arcos e viragens devem ter um $GEH \leq 10$;
- Comparação dos valores modelados vs. Valores das contagens observados;
- Valor de $R^2 > 0.9$;
- No gráfico de dispersão devem estar todos os valores (modelados e observados);
- O valor de $RMSE < 30,0 \%$.

3. Aplicação a um estudo de caso da cidade de Guimarães

O estudo de caso é referente à modelação da rede distribuidora da cidade de Guimarães, Portugal. Esta rede incide sobre a rede de vias distribuidoras principais, cobrindo a área do centro histórico e sua envolvente, delimitada por uma via arterial (a Variante) e pelo Monte da Penha. A área de estudo foi dividida em 27 zonas, na Figura 1 apresentam-se 14 zonas internas (“coloridas”) que visam representar o funcionamento e os principais fluxos que se geram no interior da cidade com base nos seus usos do solo, e 13 zonas externas (“a branco”) que pretendem caracterizar os pontos de entrada e saída da cidade. Por outro lado, em detrimento da não existência de uma matriz OD inicial, a afetação será efetuada com base na estimação da matriz OD a partir das contagens de tráfego realizadas em várias interseções.

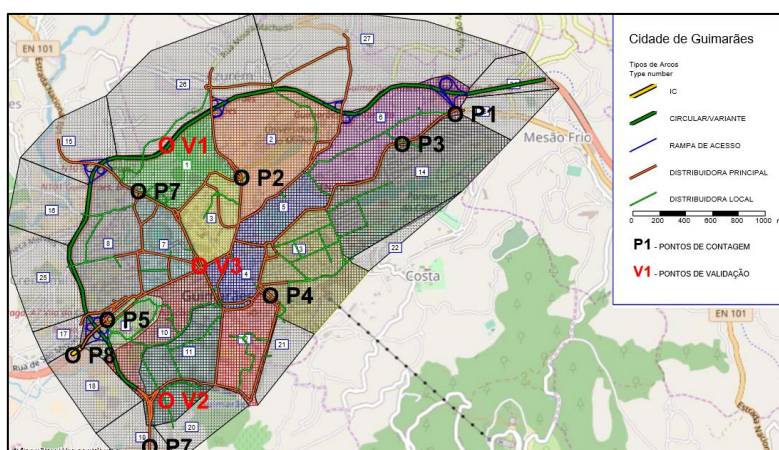


Figura 1 - Mapa da rede da Cidade de Guimarães

3.1. Dados de entrada

Os dados de entrada utilizados neste estudo foram a matriz OD e Contagens de tráfego. Para a rede da cidade de Guimarães não foi possível obter uma matriz OD, visto que os estudos de tráfego e transportes realizados abrangem uma área de estudo muito maior, tendo-se adotado uma matriz OD inicial de valor 10, com diagonal nula e dimensão (27X27).

As contagens de tráfego utilizadas são referentes ao estudo de mobilidade do Quadrilátero Urbano de Barcelos, Braga, Famalicão e Guimarães, em 2013, selecionando-se os dados correspondentes à área de estudo. Os dados selecionados são referentes à hora de ponta da manhã (8h15 - 9h15), estando subdivididas em 4 subclasses, motociclos (MC), ligeiros (LIG), pesados (PES) e Autocarros (BUS). Estes foram posteriormente tratados e inseridos no modelo. Foram utilizados 8 pontos de contagem, Figura 1, que totalizam 57 movimentos direcionais (Turns) e 4 links. No processo de modelação, o tráfego foi homogeneizado para unidade de veículo ligeiro equivalente (u.v.e), tendo por base os fatores de equivalência da Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de equivalência [25]

Fatores de equivalência			
Motociclos	Ligeiros	Pesados	BUS
1	1	2	1,5

3.2. Resultados da calibração do modelo

Aplicando a metodologia de calibração apresentada é possível extrair um vasto conjunto de informação, nomeadamente, os volumes de tráfego que se apresentam no mapa da Figura 3. Com base na comparação entre os volumes observados e modelados traduzidos no cálculo dos parâmetros GEH, RSME (Tabela 3) e da análise do gráfico de dispersão (Figura 2) é possível concluir que o modelo está calibrado.

Tabela 3 - Validação das contagens pelos Parâmetros GEH e RMSE, hora de ponta da manhã

	GEH		RMSE (%)
	Nº de contagens	Percentagem (%)	
GEH<5	59	97%	7,98 %
5<GEH<10	2	3%	<30%
GEH>10	0	0	OK!!!

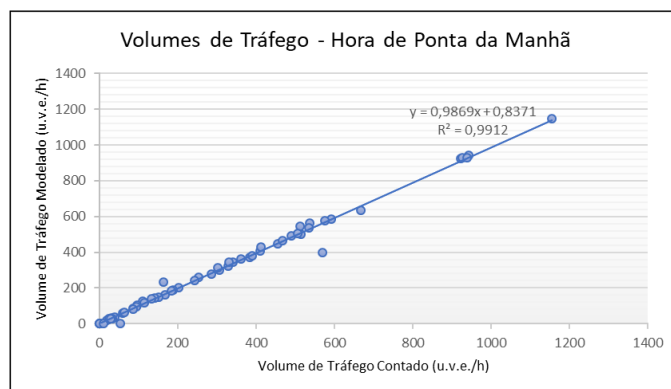


Figura 2 - Gráficos De Dispersão

Posteriormente validou-se o modelo efetuando-se contagens de tráfego em três pontos relevantes da rede - V1, V2 e V3 (Figura 1) e a respetiva comparação com os valores modelados aplicando o critério de validação - GEH, cujo resultado se apresenta na Tabela 4. É de salientar que, ao contrário do que se sucedeu com as outras contagens, estas não entraram no processo de calibração. Apenas foram utilizados para validar o modelo.

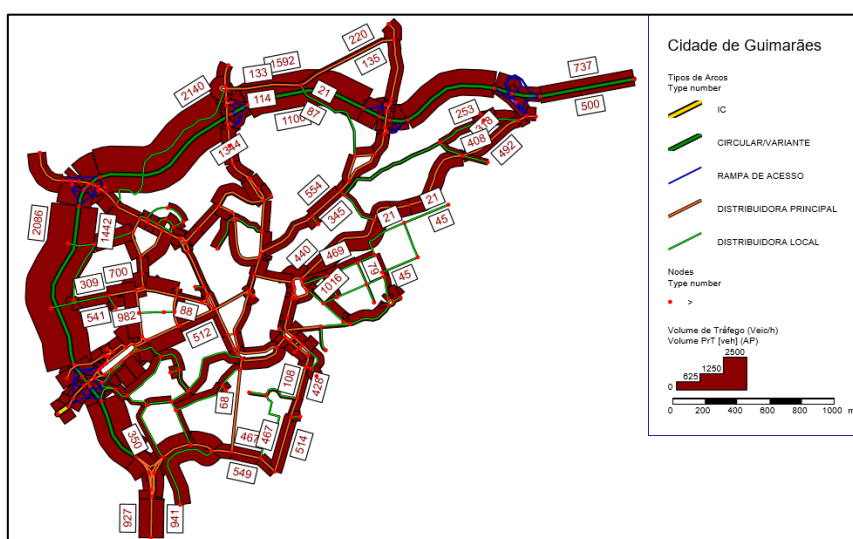


Figura 3 - Volumes de tráfego do modelo

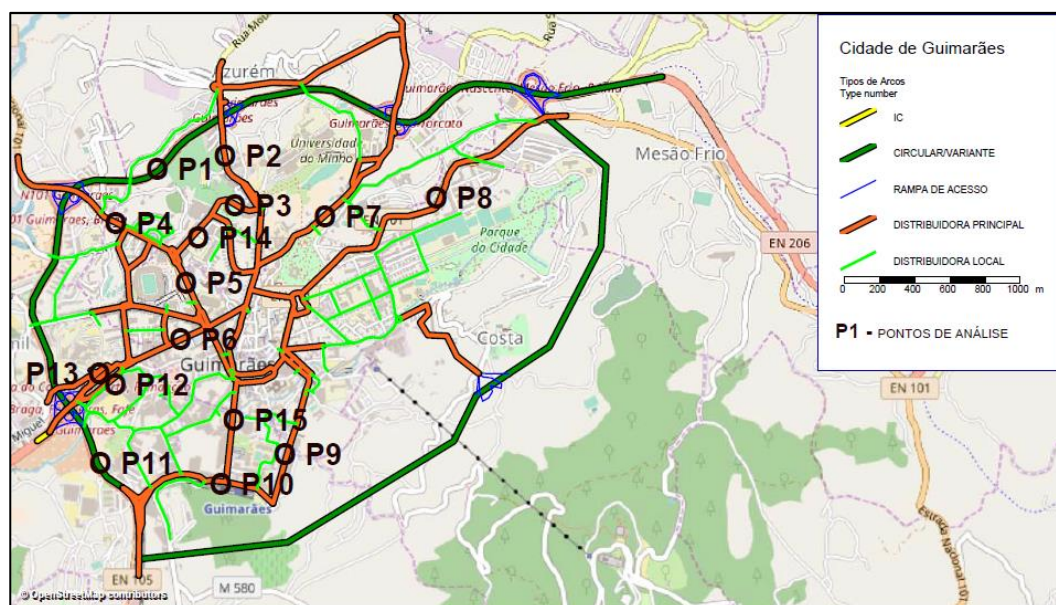
Tabela 4 - Validação do modelo

Pontos de Validação				
Rua (Ponto de Validação)	Sentido	Trafego contado (u.v.e./h)	Trafego modelado (u.v.e./h)	GEH
Variante (V1)	Fafe->Guimarães	2398	2140	5
	Guimarães-> Fafe	1397	1344	1
Rua António Costa Guimarães (V2)	CP-> Urgezes	474	369	5
	Urgezes->CP	714	798	3
Alameda Dr. Alfredo Pimenta (V3)	Centro->PSP	300	317	1
	PSP->Centro	363	400	2
Rua S. Gonçalo (V3)	Estádio->Centro	72	88	2
	Centro->Estádio	282	304	1
Av. Conde Margaride (V3)	Via de sentido único	493	500	1
Rua Gil Vicente (V3)	Via de sentido único	75	112	4
Av. Paio Galvão (V3)	Via de sentido único	491	491	0

3.3. Desenvolvimento do cenário sobre a possível introdução de uma via circular em torno da cidade de Guimarães

Nesta secção é apresentado o cenário e a análise da conclusão do anel da Variante, que circunda metade da cidade, com a proposta de construção da restante via arterial na vertente da encosta do Monte da Penha. Consistindo na criação de uma ligação entre a EN 105 (Guimarães - Vizela) e a Freguesia de Mesão Frio, ou seja, a ligação entre a entrada sul da cidade, de Vizela para a entrada norte de Fafe.

A realização desta nova ligação é estabelecida com recurso a duas rotundas. Sendo a primeira rotunda localizada EN 105 (Vizela - Guimarães). A segunda rotunda é referente a uma já construída na EN 101 ligação a Mesão Frio, que faz a ligação entre a Rua N. Sra. da Penha, a EN 101 (Guimarães - Fafe) e a EN 101 (Mesão Frio). Construindo-se um novo ramo de ligação para a variante a construir.



Ponto 1 – EN 101 – Guimarães – Fafe (Variante)
 Ponto 2 – Av. da Universidade
 Ponto 3 – Rua Cónego Dr. Manuel Faria
 Ponto 4 – EN 101 – Braga-Guimarães
 Ponto 5 – Alameda Alfredo Pimenta
 Ponto 6 – Av. Conde de Margaride
 Ponto 7 – Rua de São Torcato
 Ponto 8 – Rua Padre António Caldas

Ponto 9 – Av. D. João IV
 Ponto 10 – Rua Eduardo Manuel José de Almeida
 Ponto 11 – EN 105 – Vizela – Guimarães
 Ponto 12 – Alameda Dr. Mariano Felgueiras (Direção A11 – Guimarães)
 Ponto 13 – Alameda Dr. Mariano Felgueiras (Direção Guimarães – A11)
 Ponto 14 – Rua Teixeira de Pascoais
 Ponto 15 – Av. D. Afonso Henriques

Figura 4 - Rede do Cenário 1 (circular fechada)



Com esta nova ligação pretende-se que os utentes possam viajar de Vizela para Mesão Frio, Fafe ou Guimarães e vice-versa mais rapidamente. Deste modo, é oferecida uma ligação alternativa ao centro da cidade e Variante - EN 101 (ligação Guimarães - Fafe), devendo esta via garantir as condições necessárias para uma boa circulação como variante.

Para efetuar a análise dos resultados obtidos procedeu-se à comparação dos volumes de tráfego entre o cenário base e o alternativo, tendo sido selecionados um conjunto de 15 pontos de contagem assinalados na Figura 4 como (P). A Tabela 5 e as Figuras 5 permitem observar as variações sofridas nos volumes de tráfego para a hora de ponta da manhã.

Tabela 5 - Comparação dos volumes de tráfego para as horas de ponta da manhã

Pontos	Hora de Ponta da Manhã			
	Cenário Base	Cenário Alternativo	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Crescimento (%)
	Tráfego (u.v.e./h)	Tráfego (u.v.e./h)		
1	3484	2954	-530	-15%
2	1123	887	-236	-21%
3	864	906	42	5%
4	1451	1502	51	4%
5	513	446	-67	-13%
6	512	546	34	7%
7	899	809	-90	-10%
8	1220	697	-523	-43%
9	981	876	-105	-11%
10	1084	939	-145	-13%
11	2783	2475	-308	-11%
12	2131	1809	-322	-15%
13	963	982	19	2%
14	533	1063	530	99%
15	68	22	-46	-68%

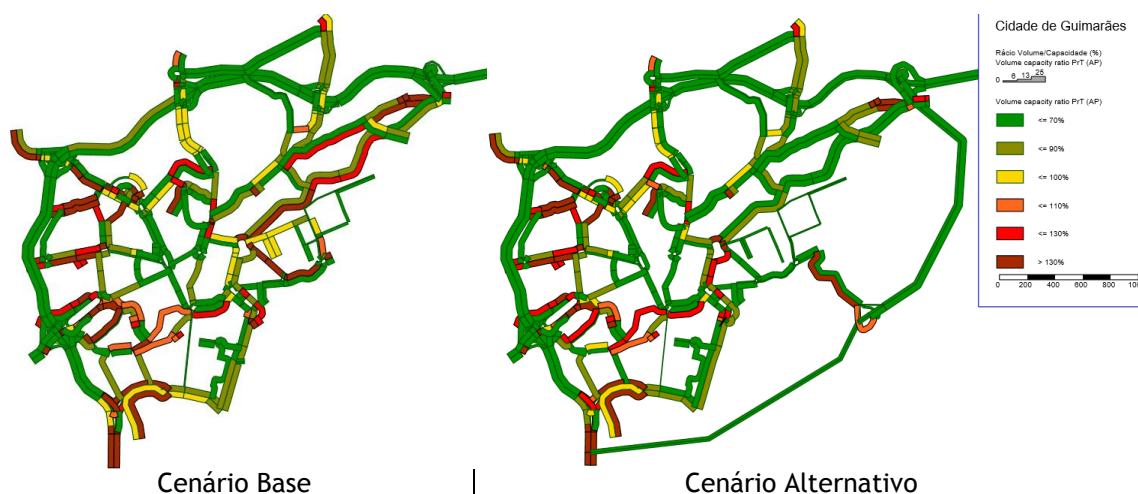


Figura 5 - Mapa rácio Volume/Capacidade

Com a introdução de uma nova via de tráfego de alta capacidade, constatou-se que o volume de tráfego nas vias periféricas diminui, verificando-se maiores decréscimos do tráfego nas ruas: a Av. da Universidade - PA 2, a Rua Padre António Caldas - PA 8, Alameda Dr. Mariano Felgueiras (A11 > Guimarães) e Variante (PA1), considerando um cenário de procura estático, i.e., a matriz O/D mantém-se constante e dessa forma é possível avaliar um hipotético reajustamento dos níveis de procura na rede, uma vez que não se prevê alterações significativas na procura global do sistemas de transportes da cidade de Guimarães. Por outro lado, pretendeu-se simular a criação de uma alternativa de ligação entre Fafe e Vizela, permitindo também uma ligação mais rápida ao centro da Cidade pela zona oriental, e desta forma aliviar os níveis de pressão em determinados troços da atual variante, nomeadamente junto a importantes polos geradores de viagens, como a Universidade e o Hospital, como se consegue comprovar nos resultados presentes na Figura 5. Apenas uma via sofreu uma taxa de



crescimento significativa, Rua Teixeira de Pascoais (PA14), mantendo um rácio v/c elevado e próximo de congestionamento. Deste modo é possível concluir que se prevê uma redução pouco significativa do tráfego no centro da cidade e na atual variante, ou seja, o fecho do restante anel da variante, pelo que não se justifica a construção de tal infraestrutura. Todavia, uma construção parcial da variante entre o Parque da Cidade e a Norte de Mesão Frio poderá conduzir a uma significativa redução dos volumes de tráfego na EN101 que serve e atravessa uma vasto conjunto de equipamentos e áreas residenciais.

Apesar da análise se centrar na otimização dos trajetos tendo em consideração os tempos de viagem, importa salientar que a construção parcial da variante na vertente nordeste da cidade irá trazer benefícios consideráveis do ponto de vista da segurança rodoviária e da concentração e emissão de poluentes, nomeadamente PM10 e de CO₂, uma vez que a EN101 apresenta um declive médio elevado e se encontra congestionada na hora de ponta da manhã. Assim, em futuros trabalhos serão realizadas análises de custo-benefício que contemplem as diferentes vertentes da sustentabilidade, nomeadamente os benefícios ambientais, sociais e económicos em contraposição aos custos diretos e indiretos associados à construção de tal infraestrutura.

4. Conclusões

Neste trabalho foi aplicada uma metodologia de modelação e estimação da matriz OD para a cidade de Guimarães com base em contagens de tráfego para a hora de ponta da manhã, com a respetiva calibração e posterior validação do modelo. Por outro lado, importa destacar a não possibilidade de validação da matriz OD, visto que não foi possível obter uma matriz OD inicial. No entanto, com um modelo foi validado, sendo possível fazer alguns testes e desenvolver cenários evolutivos, nomeadamente para testar o impacto de algumas alterações no funcionamento da rede que poderá permitir prever e identificar o nível de impacto de algumas propostas.

No estudo do cenário apresentado neste artigo foi possível verificar uma redução significativa do tráfego no troço da circular já contruído, tendo-se verificado maiores descidas em outras vias de acesso direto à cidade, sendo estas, a Avenida da Universidade e a Rua Padre António Caldas, reduzindo problemas de congestionamento. Verificando-se por sua vez uma elevada subida na Rua Teixeira de Pascoais, não deixando esta sobrecarregada. Concluindo-se que a construção do restante anel da circular não é uma tarefa de elevada importância para contribuir para a redução do tráfego na rede.

Este tipo de análises torna-se valiosa para os gestores do território e mobilidade. Assim, apesar da limitação que o modelo possui, nomeadamente, a não existência de uma matriz OD inicial, este pode ser usado para futuras avaliações da cidade como complemento ao planeamento de transportes.

5. Referências

- [1] Zheng J, editor Congestion Pricing and Sustainable Development of Urban Transportation System. 2008 Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System; 2008 2-3 Aug. 2008.
- [2] Quddus MA, Wang C, Ison SG. Road traffic congestion and crash severity: econometric analysis using ordered response models. *Journal of Transportation Engineering*. 2009;136(5):424-35.
- [3] Wang C, Quddus MA, Ison SG. Impact of traffic congestion on road accidents: A spatial analysis of the M25 motorway in England. *Accident Analysis & Prevention*. 2009;41(4):798-808.
- [4] Lee C, Abdel-Aty M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. *Accident Analysis & Prevention*. 2005;37(4):775-86.
- [5] Gallo M, De Luca G, De Martinis V. The effects of urban traffic plans on noise abatement: a case study. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014;191:583-94.
- [6] ogiatzis K, Kopelias P. Benefits and Limitations toward a sustainable Road Environment during the Years of Economic Recession. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2015;10(5):701-12.

- [7] Caselli M, de Gennaro G, Marzocca A, Trizio L, Tutino M. Assessment of the impact of the vehicular traffic on BTEX concentration in ring roads in urban areas of Bari (Italy). *Chemosphere*. 2010;81(3):306-11.
- [8] Steenberghen T, Dufays T, Thomas I, Flahaut B. Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. *International Journal of Geographical Information Science*. 2004;18(2):169-81.
- [9] Wackrill P, Wright C. Design of Traffic Circulation Systems to Minimise Conflict. *Journal of Maps*. 2007;3(1):20-34.
- [10] Mattsson L-G, Sjölin L, editors. Transport and location effects of a ring road with or without road pricing. 42nd Congress of the European Regional Science Association: "From Industry to Advanced Services - Perspectives of European Metropolitan Regions"; 2002 August 27th - 31st; Dortmund: European Regional Science Association (ERSA).
- [11] Heinzle F, Anders K-H, Sester M. Pattern recognition in road networks on the example of circular road detection. *Geographic Information Science*. 2006:153-67.
- [12] Li B, Tao S. Influence of expanding ring roads on traffic noise in Beijing City. *Applied Acoustics*. 2004;65(3):243-9.
- [13] Samara T, Tsitsoni T, editors. Road traffic noise reduction by vegetation in the ring road of a big city. *Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics*; 2007.
- [14] Ow LF, Ghosh S. Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*. 2017;120:15-20.
- [15] Ahmed I. Road infrastructure and road safety. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*. 2013;83:19-25.
- [16] Wang C, Quddus M, Ison S. The effects of area-wide road speed and curvature on traffic casualties in England. *Journal of Transport Geography*. 2009;17(5):385-95.
- [17] Mohd Masirin MI, Al-Bargi WA, Prasetijo J, Daniel BD. Road Accident Analysis: A Case Study of Federal Route FT024 Yong Peng- Parit Sulong. *MATEC Web of Conferences*. 2016;47:03004.
- [18] Ramos AFF. Proposta de medidas para melhoria da mobilidade em transporte rodoviário urbano - o caso do Barreiro [Dissertation]. Civil engineering: Universidade Nova de Lisboa; 2008.
- [19] Ortúzar JdD, Willumsen LG. *Modelling Transport*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2011.
- [20] Tavares JP. Aplicabilidade e robustez de modelos de afetação de tráfego em redes urbanas [Thesis]. Civil engineering: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2003.
- [21] Group P. *PTV Visum 16 Manual*. Karlsruhe, Germany: PTV AG; 2017.
- [22] Roads and Maritime Services N. *Traffic Modelling Guidelines*; 2013.
- [23] London Tf. *Traffic Modelling Guidelines*. TfL Traffic Manager and Network Performance Best Practice. 3^o ed2010.
- [24] Vilarinho CAT. Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas [Dissertation]. Civil engineering: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2008.
- [25] Martins AP, Barros, F. R., Pereira, J. L. M. B., Trinta, Z. A., Oliveira, A. C., Coelho, A. E. R., Ramos, A. M., Rosa, C. L. M., Martins, F. O., Stuckert, G. L., Silva, M. D., Barbosa, J. C. M., Nigri, E. S., Filho, A. M. S., Costa, E. S., Pereira, D. A. . *Manual de estudos de tráfego*. Brasil: Ministério dos Transportes, DNIT; 2006. 384 p.